

凝固分野においては、総じて品質改善に関する発表が3~4割を占めている。大きな流れとしては、先行する1980年初頭からのCC-HCR, HDRの拡大や生産性を高める高速鋳造の進展により、前期においてはパウダーや二次冷却による表面品質の改善に重点があるが、中期以降は中心偏析、ポロシティや介在物の低減などの内部品質の改善に重点が移行する。またタンディッシュ溶鋼加熱など、連続鋳造の非常常部（鋳造開始部、終了部、取鍋交換部）の品質改善にも積極的に取り組まれている。後期には、特に一貫での直行直結改善からモールドへの電磁攪拌、電磁ブレーキなどの溶鋼流動制御を適用し、介在物、気泡、鋳片表面割れの改善や、湯面レベル制御やパウダーの改善による表面品質の向上が強く進められている。この10年間の連続鋳造分野の新技術として、水平連鋳機や電磁鋳造を中心とした特殊連鋳に関する発表と、ストリップ連鋳機を中心としたニアネットシェイプ連鋳に関する発表が着実に増大している。

3.1.3 今後の製鋼技術の課題

以上製鋼分野においては10年ごとに、転炉の導入と普及、連鋳機の導入と普及、製鋼工程一貫における品質対応力の向上と、それぞれの時代が必要とするうねりのような技術の大きな発展があった。これからの10年は、最近の円独歩高に加速される国内製造業の産業空洞化の動きや国際比価競争力の再構築など我が国鉄鋼業の直面するかつてない厳しい構造的な変化に対処するために、これまで以上にコスト競争力と高度化する鋼材品質要求を両立できる新しい製鋼技術体系が求められている。現在取り組まれている高品質鋼製造技術、コスト低減技術、生産性向上技術や環境・リサイクル問題に広がる製鋼技術を、継続して高度化していくとともに、多様化する市場のニーズや原料事情の変化に対処するために製鋼プロセスとしての新しい選択肢も創出していく必要がある。このためには、基礎研究から応用技術までを体系的に積み重ねていくことが、いっそう重要となっている。

3.2 高品質鋼製造技術の進歩

3.2.1 高品質鋼ニーズの増大

鋼の高品質化に対する需要家の要求は近年厳しさを増しているが、その背景には鋼材の使用環境の苛酷化、安全性に対する高い信頼性確保、加工工程の作業性改善、より複雑な加工、検査の自動化や省略などがある。

高品質鋼に要求される特性は、(1)加工性向上、(2)疲労特性や強度、靱性などの材質向上、に大別できる。以下に、要求品質特性レベルの高い代表的な鋼種について、需要家のニーズを具体的に示す。

(1)に関して、自動車や家電用に供される薄板材は、加工特性の向上と連続焼鈍プロセスの適用などのニーズから極低炭

素鋼の生産比率が増加してきた。Fig. 3.4に示すように、延性や深絞り性などの機械的特性を増して複雑な加工を精度良く行うためには鋼中の炭素濃度を極力低減させることが有効であり、それは同時にニオブなどの炭素固定元素量の減少が可能とする。なお、薄板材は外板として使われることが多く、良好な表面性状を保つことも重要である。また、DI缶は0.25 mm以下の板厚で成形されているが、軽量化を図るため元板厚のさらなる低減が要求される。深絞り加工時のフランジ割れは製缶工程の作業能率を著しく低下させるので、より厳しい条件下で割れ起因となる非延性 Al_2O_3 系介在物を低減させる必要がある。タイヤコード線材も加工度が大きく、伸線時の断線が生産性を阻害する。断線は中心偏析と

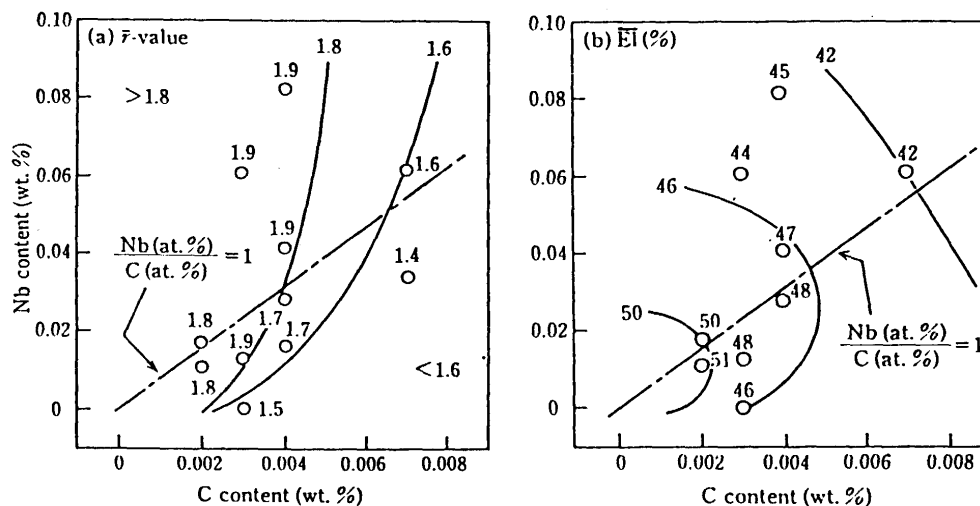


Fig. 3.4. Mechanical properties as functions of C and Nb contents. (Kawasaki Steel Giho, 21 (1989), p. 208)

もに非延性の Al_2O_3 系介在物が原因といわれており、低融点介在物への形態制御を完全に行うことが望まれている。

(2) の材質向上に関して、軸受鋼は高度な信頼性を得るために、転動疲労寿命の延長とばらつき低減が要求される。Fig. 3.5 に転動疲労寿命と酸素値の関係を示す。酸化物系介在物は圧延などによっても伸びず、マトリクスとの間にボイドが生じて応力集中源となりはく離を引き起こす。その軽減のためには酸素濃度の減少と低位安定化が肝要である。厚板分野では、低温靱性や材料の異方性、溶接性を改善するために従来から P, S, H などの不純物元素の低減がなされてきたが、より苛酷な環境下での使用に伴って、いっそうの低減が要求されている。なかでも耐サワーラインパイプ用鋼は、Fig. 3.6 に示すように材質および品質要求が年々厳しくなっており、硫化水素などの腐食性ガス環境下での水素誘起

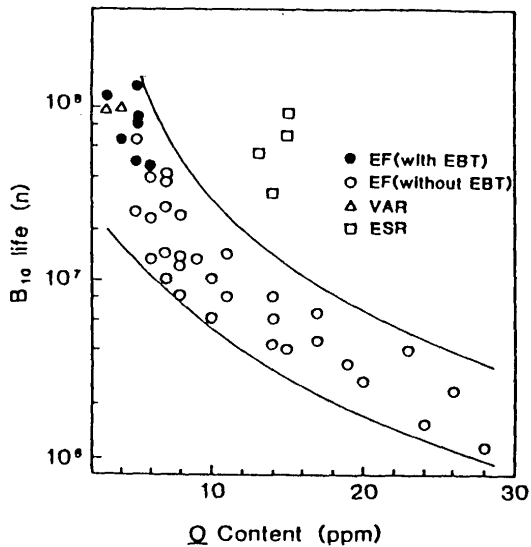


Fig. 3.5. Relation between B_{10} life and O content. (Tetsu-to-Hagané, 74 (1988), p. 1889)

Requirements	'65	'70	'75	'80	'85
Grade API 5L	X52 ~ X60	X65	X70		X80
WT/OD (%)	2%	3%			5%
Toughness requirement	Charpy	DWTT 30°F			90 ft-lbs
— DWTT					60 ft-lbs
--- Charpy energy	25 ft-lbs	45 ft-lbs			-50°F
Ceq. requirement (IIW %)	0.45	0.43	0.40	0.39	0.38
Anti-corrosion requirement	Accidents				0.35
	<ul style="list-style-type: none"> Persian Gulf Saudi Arabia Canada Quatar 				
	BP solution HIC test				
	NACE solution HIC test				

Fig. 3.6. Change of quality requirement for high strength line pipe steel. (Tetsu-to-Hagané, 80 (1994), p. 263)

割れ (HIC) に対する十分な対策が望まれている。不純物元素の低減とともに中心偏析の低減技術や Ca による介在物の形態制御技術なども製鋼での重要な対応策である。

このような需要家の多様で厳しい要求に対して、溶製から鋳造段階まで最適な製鋼プロセスを選択して高品質の鋼を安定製造することが今後より重要となる。

3.2.2 高品質鋼製造プロセスの進歩と今後の課題

(1) 溶銑予備処理と転炉精錬の機能分担

溶銑脱硫処理に加えて、溶銑脱磷と、その前段階としての脱珪処理の研究開発が 1985 年頃までに鉄鋼各社で盛んに実施された。同時に、それぞれの製鋼工場のおかれた条件に従い、既存の高炉-転炉プロセスの中に工業生産規模のプロセスとして組み込まれた。

この脱磷処理も含む溶銑予備処理の研究開発は、精錬コストの低減および低硫・低磷濃度の高純度鋼溶製要求への対応とされてきた。最近ではこれらに加え、溶鋼中酸素濃度の低い高純度鋼溶製のために、溶銑脱磷処理が有効であるとの指摘がされ(後述)、大量生産鋼種である低炭素鋼・極低炭素鋼にも適用が拡大されてきている。

1985 年以後の 10 年間に実施された、溶銑予備処理精錬とこれに引き続く転炉精錬のプロセス開発研究の特色を以下に 5 点述べる。

i) 溶銑予備処理精錬自体の最適化

まず、溶銑脱磷処理自体の最適化の研究として、脱磷と同時に復磷までも考慮した基礎研究、CaO と O_2 の供給速度比、フラックス組成、吹き込み条件の最適化を目的とする実験などがある。

ii) 予備処理された溶銑を用いる転炉精錬の最適化

溶銑予備処理により Si, P, S 濃度が低下した溶銑の転炉精錬を行う場合、転炉の役割は脱炭と温度調整のみに簡略化される。予備処理された溶銑を用いる転炉精錬時の冶金特性、鉄およびマンガン歩留り、ダスト発生などの現象把握は、1986, 87 年頃までにはほぼ終了した。その後、Fe の過剰な酸化を抑制しつつ要求される C 濃度まで脱炭する吹錬方法について研究が行われた。

例えば、従来提案されていた転炉内での優先脱炭指標である ISCO, BOC に代わり、上吹き酸素と底吹き酸素の寄与を分離した指標、 I^1 、によれば各種上底吹き転炉の冶金特性が統一的に整理でき、送酸速度や上底吹き流量比率などの吹錬条件の設計が可能となることが示された。また、転炉吹錬終了時点の [%C], [%O] が気相の CO 分圧により決まるのではなく、火点、スラグ/メタル界面での平衡と、バルク溶鋼-スラグ-火点の間の物質移動で速度論的に決定されるという新規な提案が実績値に基づく数値シミュレーションにより示

¹⁾ ISCO, BOC, I: これらは、いずれも転炉内での脱炭反応をマクロにとらえ、反応界面への酸素供給速度、炭素の反応界面への移動速度、反応界面の CO 分圧を操業因子により推定し、組み合わせて指標化したものである。